Untersuchungen

über die

Entwicklung einiger Embryonen

bei der Keimung.

Inaugural-Dissertation

zu Erlangung

der

Doctorwürde in der Naturwissenschaft

unter dem Präsidium

von

Dr. Wilhelm Hofmeister,

ordentl. Professor der Botanik an der Universität Tübingen,

vorgelegt

von

Friedrich August Tscherning

aus Bebenhausen.

Tübingen, 1872.

Druck von Ludwig Friedrich Fues.

In der Absicht, die von Julius Sachs nachgewiesene transitorische Stärkebildung bei der Keimung vieler Embryonen, sowie die von ebendemselben festgestellte Beziehung der Stärke zur heranwachsenden Pflanze weiter zu verfolgen, habe ich die Entwicklung verschiedener keimender Samen zum Gegenstand meiner Untersuchung gemacht. Einige der hiebei an stärkefreien Embryonen beobachteten Erscheinungen dürften der Veröffentlichung nicht unwerth sein und mögen daher hier eine Stelle finden.

Cucumis sativus L.

Im ruhenden Embryo stellt die Gefässbündelanlage des Würzelchens einen centralen Strang dar, welcher an 3 bis 4 übereinander liegenden Etagen quirlförmig angeordnete Zellprotuberanzen zeigt. Es sind diess die Andeutungen der ersten Nebenwurzeln an der Pfahlwurzel. Oberhalb derselben beginnt an der Keimachse die Region des hypocotylen Internodiums. Der centrale Strang der Gefässbündelanlage differenzirt sich daselbst in einen Meristemring und in ein centrales Mark. Etwas höher im hypocotylen Internodium sind an die Stelle des Meristemringes vier und weiter gegen oben noch zwei Blattspurstränge getreten, welche zu den Cotyledonen und zu der,

aus einigen Blattanlagen bestehenden Knospe führen. Die Rinde und das Mark der Keimachse bestehen aus parenchymatischen, ölerfüllten Zellen, die meist reihenweise übereinander liegen. Ihr Höhendurchmesser ist kleiner, als ihr Breitendurchmesser, so dass sie plattgedrückt erscheinen. Sie setzen sich in die Cotyledonen fort und bilden daselbst das Grundgewebe, in welchem die Gefässbündelanlagen verlaufen. Zwischen den Cotyledonen endigt die Keimachse in eine Knospe, deren Blätter und Achse aus meristematischem Gewebe bestehen. Die Achse endigt an der Wurzelspitze mit einer stark entwickelten Wurzelhaube.

Im gequollenen Samen beginnt die erste Lebensthätigkeit damit, dass sich in der Rinde und in dem Mark an der Grenze zwischen dem hypocotylen Internodium und der Pfahlwurzel aus einem Theile des Oels Stärke bildet. Das Gleiche geschieht hierauf auch in der Wurzelhaube und dann schreitet die Stärkebildung von dem Orte ihres ersten Auftretens sowohl abwärts in die Wurzel, als aufwärts gegen die Cotyledonen vor. Erst jetzt strecken sich alle Zellen der hypocotylen Achse. So gelangt sie mit dem unteren Theile aus der Samenschale hervor und damit entwickeln sich in der Gefässbündelanlage der Wurzel die ersten Gefässe. Es zeigen die Zellen, in welchen die erste Stärke auftrat, an der Grenze zwischen hypocotylem Internodium und der Pfahlwurzel die rascheste Streckung. An jener Stelle ist es auch, wo bei normaler Lage des Samens, das heisst, wenn die Achse bei der Keimung horizontal hervortritt, die Abwärtsbie-

gung der Pfahlwurzel stattfindet. Sobald nun diese dem Einflusse der Schwerkraft gefolgt ist, verwandelt sich im ganzen abwärts gebogenen Theile der Wurzel rasch alles Oel vollends in Stärke, letztere beginnt hierauf oberhalb der Region des Urmeristemes der Wurzelspitze zu verschwinden und wird, indem sie in Zucker übergeht, in aufsteigender Ordnung zur Streckung der Zellen und zum Aufbau der Wurzel verwendet.

Es hat den Anschein, als ob bei der Keimung durch die Abwärtsbiegung der Pfahlwurzel in dem Biegungswinkel eine Art Hinauspressung der Zellen bewirkt würde, denn es entsteht hier regelmässig eine Anschwellung, indem sich der Querdurchmesser der gestreckten Rindenzellen radial verlängert (Fig. 1 bei *b*). Im Laufe der späteren Entwicklung befindet sich diese Anschwellung an der obersten Region des abwärts gebogenen Theils der hypocotylen Achse genau an der Stelle, wo sich der centrale Meristemstrang gegen oben zu spalten beginnt. Die Anschwellung schiebt sich nach Art einer Saugwarze keilförmig zwischen die Samenschale und den noch in derselben befindlichen Theil des Embryo ein (Fig. 1 und 2 bei *s*) und verwächst auf ihrer unteren Seite durch Haargebilde so stark mit der Samenschale, dass eine Trennung ohne Verletzung meist nicht möglich ist.

An der Stelle der Biegung der hypocotylen Achse befindet sich eine verhältnissmässig schmale Region, innerhalb welcher das letzte Oel in den noch wenig gestreckten Parenchymzellen vollends in Stärke übergeführt wird, die sodann gegen abwärts rasch abzunehmen beginnt, indem

sie zur Streckung der Zellen verwendet wird (Fig. 1 Region um *d*). Oberhalb dieser Region, da, wo die Keimachse in die horizontale Richtung des hypocotylen Internodiums übergeht, ist neben der Stärke noch Oel vorhanden, die Zellen sind sehr wenig gestreckt (Fig. 1 bei *c*) und die ganze Entwicklung erfolgt hier viel langsamer, als unmittelbar unterhalb derjenigen Stelle, wo die Keimachse in die senkrechte Richtung der Pfahlwurzel übergeht, denn hier haben sich die Zellen unterdessen schon um das Mehrfache ihres Querdurchmessers in die Länge gestreckt, die Stärke ist nur spärlich vorhanden (Fig. 1 bei *a*) und verschwindet abwärts rasch unter gleichzeitiger Entwicklung dieses Achsentheiles. Nur in der Wurzelspitze, wo noch ein energisches Wachsthum herrscht, findet sich dann noch Stärke vor, welche erst im weiteren Verlaufe der Keimung vollends verwendet wird. Auch äusserlich ist ein Unterschied zwischen dem oberhalb und dem unterhalb der Biegung gelegenen Theile der Keimachse in so ferne bemerkbar, als der erstere dünn und undurchscheinend, der letztere dick und glasartig durchscheinend sich darstellt.

Die Entwicklung des hypocotylen Internodiums schreitet von unten nach oben vor, indem Oel und Stärke in derselben Ordnung zum Aufbau verwendet werden.

Die Anschwellung an der Grenze zwischen der Pfahlwurzel und dem hypocotylen Internodium befördert augenscheinlich die Entfaltung des noch in der Samenschale steckenden Theiles des Embryo dadurch, dass sie mit der Samenschale verwächst (Fig. 2 bei *s*), diese festhält, und so

dem sich mit den Cotyledonen bogenförmig aus derselben herausziehenden hypocotylen Internodium einen Stützpunkt (eine Art Widerlage) gewährt (Fig. 2). Lange nach Entfaltung der Cotyledonen bleibt dann noch die leere Samenschale mit der Anschwellung verwachsen und erscheint als seitliches Anhängsel der Keimachse.

Nachdem bereits in der hypocotylen Achse nahezu alle Nahrungsstoffe zur Verwendung gekommen sind, so dass nur unterhalb der Cotyledonen in den Parenchymzellen, welche die Gefässbündel zunächst umgeben, noch einige Stärke vorhanden ist, dauert die Stärkebildung in den Cotyledonen noch immer fort und von ihnen aus erfolgt nun auch vorzugsweise die Ernährung der inzwischen heranwachsenden epicotylen Achse. Es beginnt hierauf die Ergrünung und die Keimpflanze ist soweit entwickelt, dass sie ihre Nährstoffe jetzt von aussen aufzunehmen vermag.

Wenn die Lage des Samens bei der Keimung eine andere ist, als die in Vorstehendem beschriebene, so ist auch der Entwicklungsgang ein abweichender und sind dabei mehrere Fälle zu unterscheiden.

Steht die Keimachse vollkommen senkrecht, so beginnt das erste Auftreten der Stärke zwar gleichfalls an der Grenze zwischen dem hypocotylen Internodium und der Pfahlwurzel, im weiteren Verlaufe der Keimung aber bleibt die Zone, innerhalb welcher die Umwandlung des letzten Oeles in Stärke und die Verwendung dieser zum Zellenaufbau stattfindet, nicht auf eine schmale Region beschränkt, wie diess bei der erwähnten gebogenen Keim-

achse der Fall ist, vielmehr ist die Metamorphose der Kohlenhydrate in der ganzen Keimachse so vertheilt, dass sie von unten nach oben allmälig fortschreitend, keine scharfe Abgrenzung erkennen lässt und sich demzufolge auch die Keimachse gleichförmiger entwickelt. Es unterbleibt bei dieser Stellung des keimenden Embryo die Anschwellung zwischen der Pfahlwurzel und dem hypocotylen Internodium.

Ist dagegen die Keimachse mit der Wurzel gegen oben gerichtet, so geht die Streckung bei der Keimung langsamer vor sich, als im vorerwähnten Falle, oder aber sie unterbleibt so lange ganz, bis durch das Wachsthum der Basis der Cotyledonen die Keimachse aus der Samenschale hervorgedrückt ist (Fig. 3). Bei der erst hierauf erfolgenden Streckung biegt sich die Pfahlwurzel in einem scharfen Bogen abwärts, in dem Winkel der Biegung bildet sich gleichfalls eine Anschwellung, diese tritt dann aber in keine Beziehung zur Samenschale mehr.

Ist endlich die Lage des Samens bei der Keimung der Art, dass seine schmalen Ränder gegen oben und unten gekehrt sind, so keilt sich die, in dem Biegungswinkel der Keimachse entstehende Anschwellung so zwischen Samenschale und Embryo ein, dass sie die beiden Samenschalenhälften an der Nabelstranggegend rechts und links berührt und mit ihnen verwächst.

Eine Anschwellung an der Keimachse entsteht überhaupt bei jeder noch so geringen Abwärtsbiegung, wie sie die Pfahlwurzel stets erleidet, wenn die Embryoachse bei der Keimung nicht vollkommen senkrecht steht. Dabei

befindet sich die Anschwellung stets nur in dem Biegungswinkel und liegt einseitig an der Achse.

In Fig. 1 ist die Grenze zwischen dem hypocotylen Internodium und der Pfahlwurzel abgebildet, und zwar ist bei *m* die Gefässbündelanlage der Pfahlwurzel nebst den ersten Gefässen *g* und den Anfängen der Nebenwurzeln *n* sichtbar, während die Anschwellung *s* sich zwischen dem oberen Theil des Embryo *d c* und der Samenschale *t* einzukeilen beginnt. Die Zeichnung stellt ein früheres Entwicklungsstadium der in Fig. 2 mit *s* bezeichneten Achsenregion vergrössert dar.

Das bei Cucumis sativus beobachtete Haft- und Stützorgan fand ich, nur beträchtlich grösser, auch bei Cucurbita Pepo L. Ob es in der Familie der Cucurbitaceen allgemein verbreitet ist, das hoffe ich durch weitere Untersuchungen festzustellen.

Galium Aparine L.

Der etwas gebogene Embryo ist in ein hornartiges Endosperm eingeschlossen. Seine Keimachse endigt zwischen den zwei dünnen blattartigen Cotyledonen in einer Knospe, welche noch keine Blattanlagen zeigt. Die Gefässbündelanlage stellt einen, in der Achse central verlaufenden Meristemstrang dar, welcher sich unterhalb der Knospe zweiarmig spaltet und in die Cotyledonen ausbiegt. Die Rinde besteht aus parenchymatischen, in der Längsrichtung der Keimachse etwas platt gedrückten Zellen. Ueber dem Urmeristem der Wurzelspitze befindet sich eine

Wurzelhaube. Die dem Embryo zum Aufbau dienende Nahrung ist im Endosperm grossentheils als Zellwandverdickung deponirt. Diese, sowie der übrige Zelleninhalt des Endospermes wird bei der Keimung in dem Maasse verflüssigt und namentlich von den Cotyledonen aufgesogen, in welchem der Embryo heranwächst.

Bei der Keimung tritt noch vor der Streckung der Achse in der Wurzelhaube und hierauf hinter der Vegetationsspitze der Wurzel in der Rinde ziemlich grosskörnige Stärke auf und erst wenn diese in allen Rindenzellen vorhanden ist, beginnt die Streckung. Dieselbe schreitet etwa auf halber Höhe, das heisst in der Mitte der Keimachse rascher vor, als in den übrigen Theilen. Wenn nun der Samen bei der Keimung so liegt, dass die Wurzel bei ihrem Hervorwachsen aus dem Endosperm gegen oben gekehrt ist, so biegt sich diese an der Stelle der raschesten Zellstreckung in einem Bogen abwärts. Von da an zeigt der untere Biegungstheil der Keimachse eine, derjenigen des oberen unverhältnissmässig rasch vorauseilende Entwicklung. Diese gibt sich dadurch kund, dass die Zellen unmittelbar unterhalb der Biegung im weiteren Verlaufe der Keimung von der isodiametrischen Form rasch in die langgestreckte übergehen, wobei die Stärke plötzlich abzunehmen beginnt (Fig. 4 bei *a*). Je weiter gegen unten der Wurzelspitze zu, desto mehr wird die Stärke zur Streckung und zum Aufbau der Achse verwendet, bis sie in der Region unmittelbar über der Wurzelspitze ganz verschwunden ist, während sie sich übrigens in der Wurzelspitze selbst noch längere Zeit im Laufe der Keimung

erhält. Aeusserlich macht sich an dem gegen unten gebogenen Theil der Keimachse von der Biegungsstelle abwärts eine Verdickung bis zum dreifachen Betrag des Durchmessers bemerkbar (Fig. 4 bei *a*), auch wird dieser Theil glasartig durchscheinend. In der Gefässbündelanlage desselben sind die ersten Gefässe vorhanden. Während dieses im abwärts gebogenen Theile vor sich geht, hat sich der Achsentheil oberhalb der Biegung ungleich schwächer entwickelt, so dass seine Rindenzellen noch wenig gestreckt, isodiametrisch und dabei noch ganz mit Stärke erfüllt sind. Auch ist der Achsentheil daselbst noch sehr dünn und undurchscheinend (Fig. 4 bei *b*). Gefässe sind noch nicht vorhanden.

Der Embryo bildet sich im weiteren Verlaufe der Keimung in aufsteigender Ordnung aus. Der Achsentheil oberhalb der Biegung bleibt aber bis zur Entfaltung der Cotyledonen und bis zur beginnenden Geradestreckung der Keimachse merklich hinter dem, unmittelbar unterhalb der Biegung befindlichen Theile zurück.

Anders gestaltet sich der Verlauf der Keimung bei senkrechter Stellung der Achse, in welchem Falle sie keine Biegung erfährt. Bei Vergleichung senkrechter und gebogener Keimachsen gleichen Alters lässt sich an ersteren keine Region ausserhalb des Endospermes bemerken, in welcher abweichende Entwicklungszustände so hart aneinander grenzten, wie dies an der gebogenen Keimachse der Fall ist. Vielmehr wird die senkrecht keimende Achse sogleich ausserhalb des Endospermes breiter, alle Zellen gehen dort rasch in die langgestreckte Form über und

ebenso schnell verschwindet die Stärke aus den sich noch in Streckung befindlichen obersten Zellen (Fig. 5). Gefässe sind vorhanden, soweit die Achse aus dem Endosperme hervorragt.

Mit Entfaltung der Cotyledonen ergrünen diese und es sind im Endosperme nur noch die primären Zellhäute vorhanden. Die Pflanze lebt nun durch Assimilation.

Eine ähnliche Entwicklung der gebogenen und der senkrechten Keimachse beobachtete ich auch bei den Euphorbiaceen und namentlich bei den Umbelliferen. Sie mag daher, wenn auch unter weniger deutlichem Auftreten, ziemlich allgemein verbreitet sein.

Der Umstand nun, dass bei der Keimung der Samen von Cucumis sativus, Galium Aparine, sowie verschiedener anderer Samen die anfänglich nicht senkrecht gestellte hypocotyle Achse in demjenigen Theile, welcher zuerst dem Einflusse der Schwerkraft folgend sich abwärts biegt, von der Stelle an, wo dies der Fall ist, eine raschere Metamorphose seiner Kohlenhydrate und demzufolge auch eine raschere Entwicklung erfährt, als derjenige Achsentheil, welcher genanntem Einflusse noch nicht folgen konnte, weist auf eine Mitwirkung der Schwerkraft bei der Verwendung der Kohlenhydrate zum Achsenaufbau hin. Auch der Umstand, dass in einer hypocotylen Achse, welche bei der Keimung senkrecht gestellt ist, die Metamorphose der Kohlenhydrate und die Entwicklung gleichmässig und ohne scharfe Abgrenzung verschiedener Entwicklungsstadien von unten nach oben vorschreitet, spricht für diese Ansicht.

Asparagus officinalis L.

Der Embryo ist von einem verhältnissmässig grossen hornartigen Endosperme eng umschlossen und besteht aus einer sehr kurzen hypocotylen Achse und einem verhältnissmässig langen walzenförmigen Cotyledo, der an seiner Basis eine, noch keine Blattanlagen zeigende Knospe birgt. In der hypocotylen Achse verlauft eine centrale Gefässbündelanlage von der Wurzelspitze bis zu der Knospe; über derselben theilt sie sich im Cotyledo in drei, in ein Dreieck gestellte und zur Spitze des Cotyledo verlaufende Stränge. Die Gefässbündelanlage der hypocotylen Achse ist umgeben von dem parenchymatischen Gewebe der Rinde, dessen Zellen etwas Oel führen. An der Wurzelspitze befindet sich eine breite, halbkugelige Wurzelhaube. Ein grosser Theil der dem Embryo zum Aufbau dienenden Kohlenhydrate ist in den Zellen des Endospermes als Zellwandverdickung deponirt, ferner finden sich in den Endospermzellen auch Proteinstoffe und einiges Oel.

Das erste Wachsthum bei der Keimung wird dadurch eingeleitet, dass sich im Parenchyme an der Insertion des Cotyledo Stärke bildet und noch ehe sonst irgendwo solche aufgetreten ist, strecken sich die stärkeführenden Zellen, so dass die ganze hypocotyle Achse mit der Knospe aus dem Endosperme gedrückt wird. Gleichzeitig schreitet die Stärkebildung von oben gegen die Wurzelspitze vor. Vermöge der Lage des Samens tritt der Embryo bei der Keimung meist in horizontaler Richtung aus dem Endosperme hervor. Ist dies in einer Länge von etwa 3 Millimetern geschehen,

so biegt er sich mit der hypocotylen Achse in einem Winkel gegen unten. Die Knospe kommt dadurch aus der wagrechten in die senkrechte Stellung. Im späteren Verlaufe stülpt sie dann die scheidige Basis des Cotyledo gegen oben (Fig. 6 bei *a*), bleibt jedoch während der raschen Entwicklung der hypocotylen Achse noch lange scheidig eingehüllt.

Nachdem sich die hypocotyle Achse bei der Keimung abwärts gebogen hat, beginnt die Stärke in der Rinde über dem Urmeristem der Wurzelspitze in aufsteigender Ordnung zu verschwinden (Fig. 6 bei *b*) und die Keimachse entwickelt sich in derselben Ordnung. Hiebei treten die ersten Gefässe auf und schreiten in ihrer Entwicklung gegen die, im Endosperme befindliche Spitze des Cotyledo vor. Ein Gefässbündel zieht sich bogenförmig in die scheidige Basis des Cotyledo hinauf. (In Fig. 7 bei *a* angedeutet.) Der Cotyledo wächst beim Beginne der Keimung nur mit seiner Basis aus dem Samen hervor, der grössere Theil bleibt während der ganzen Entwicklung des Embryo im Endosperme stecken, um dort die Nahrungsstoffe aufzusaugen und sie der heranwachsenden Keimpflanze zuzuführen. Soweit der Cotyledo aus dem Endosperme ragt, ist er angeschwollen und seine Parenchymzellen sind reich mit Stärke erfüllt (Fig. 6 bei *c*). Letztere dient von hier aus zunächst der sich rasch streckenden hypocotylen Achse zur Entwicklung und wird erst später auch zum Aufbau der epicotylen Achse vollends verwendet.

Nachdem die hypocotyle Achse eine Länge von 15 Millimetern erreicht hat, ist die Knospe soweit herangewachsen, dass sich an ihrer Spitze einige Blattanlagen gebildet haben,

in deren Achseln sich einfache Protuberanzen von meristematischem Gewebe zeigen (Fig. 7 bei *c* in einem späteren Entwicklungsstadium). Zugleich hat sich die Knospe zur Streckung vorbereitet, indem an ihrer Basis ein stärkeführendes, peripherisches und centrales Parenchym entstanden ist, zwischen welchem Gefässbündelanlagen gegen die Spitze der Knospe verlaufen.

Im Laufe der weiteren Entwicklung erhebt sich die Knospe säulenförmig aus der scheidigen Basis des Cotyledo (Fig. 7), während sich das stärkeführende Parenchym mit den Gefässbündelanlagen streckt und so die epicotyle Achse darstellt.

Hat hierauf die Embryonalachse eine Länge von 2 Centimetern erreicht, so ist die Basis des Cotyledo soweit vorgeschritten, dass die Stärke aus den Parenchymzellen bis auf wenige Reste in der Spitze des scheidigen Theiles des Cotyledo verschwunden ist (Fig. 7. *d*). Die Gefässe sind hier zahlreich vorhanden und die Zellen definitiv gestreckt. Die hypocotyle Achse führt um diese Zeit nur noch in der Wurzelspitze und Wurzelhaube einige Stärke (Fig. 7 bei *e*). Die meisten Nahrungsstoffe, welche sich jetzt noch im Endosperme finden, werden nun der Spitze der epicotylen Achse, wo ein rasches Wachsthum herrscht, zugeführt. Auf dem Wege dahin kommt jedoch auch noch ein Theil der Kohlenhydrate transitorisch als Stärke zur Ruhe. Besonders ist dies an der Basis der epicotylen Achse der Fall, wo die Streckung und Neubildung noch längere Zeit fortdauert (Fig. 7. bei *f*). Oberhalb dieser Basis, wo die Achse in der Entwicklung weiter vorangeschritten ist und sich Ge-

fässe ausgebildet haben, ist dann weniger Stärke vorhanden (Fig. 7. bei *b*). Dagegen findet sie sich gegen die Vegetationsspitze hin am reichlichsten, hier besonders im Marke, dann in der Rinde sowie an der Basis der knospentragenden Blätter (Fig. 7). Letztere entwickeln ihre Spitzen zuerst und sind daselbst von Stärke schon entleert, während die Zellen der Basis noch im Wachsthume begriffen sind.

Nachdem die Spitze der Achse die Erdoberfläche erreicht hat, ergrünt sie, die Stärke verschwindet, die Knospen der Blattachseln entwickeln sich zu Zweigen und die Pflanze ernährt sich durch Assimilation.

Um diese Zeit ist das Endosperm entleert und nur die primären Zellwandungen sind noch als schleimigfaserige Masse übrig geblieben, zwischen der sich einzelne Oeltropfen befinden.

Lupinus hirsutus L.

Die starke Primärachse endigt zwischen den zwei dicken, fleischigen Cotyledonen mit einer Knospe, deren Blätter schon gefingert sind. Die Gefässbündelanlage ist in der Keimachse in der Form eines Meristemringes, der ein centrales Mark einschliesst, vorhanden. Die Zellen des letzteren sind wie die der Rinde isodiametrisch und parenchymatisch. Das Mark verlauft bis in die Achse der Knospe. Das Urmeristem der Wurzelspitze ist mit einer stark entwickelten Wurzelhaube bedeckt. Ein grosser Theil der dem Embryo zum Aufbau dienenden Nahrung ist in den

Cotyledonen in Form von geschichteten sekundären Zellwandungen deponirt.

Die erste Wachsthumsthätigkeit bei der Keimung äussert sich durch Auftreten von Stärke in Rinde und Mark, an der Insertion der Cotyledonen, sowie in der Knospe. Erst nachdem die Rinde und das Mark der Keimachse in ihrer ganzen Ausdehnung mit Stärke sich gefüllt haben, beginnt die gleichzeitige Streckung sämmtlicher Zellen. Zur vollständigen Entwicklung aber gelangen trotzdem, dass die Stärke in den oberen Theilen der Achse früher aufgetreten ist, die Zellen der Pfahlwurzel zuerst und wird die Stärke in ihnen bälder aufgebraucht, als dort. Immerhin ist aber daneben auch in der epicotylen Achse das Wachsthum ein verhältnissmässig rasches. Die ersten Gefässe zeigen sich an der Insertion der Cotyledonen, von wo aus sie bei weiterer Entwicklung in denselben aufwärts, gleichzeitig aber auch im hypocotylen Internodium abwärts vorschreiten. Alsdann bilden sich auch in der epicotylen Achse Gefässe in aufsteigender Ordnung aus.

Im Verlaufe der Keimung verschwinden die sekundären Zellschichtablagerungen in den Cotyledonen und es tritt dafür Stärke auf; diese nimmt später in dem Maasse wieder ab, in welchem der Embryo heranwächst, die Cotyledonen werden dabei dünner, gelangen an die Erdoberfläche und ergrünen.

Lange nachdem die Ernährung der Keimpflanze durch Assimilation begonnen hat, werden ihr noch immer auch Nährstoffe aus den Cotyledonen zugeführt.

Taxus baccata L.

Der Embryo liegt in einer centralen Höhlung des Eiweisskörpers und ist zusammengesetzt aus der primären Achse und zwei Cotyledonen, zwischen welchen sich eine Knospe ohne weitere Blattanlagen befindet. In der Achse erscheint die Gefässbündelanlage als centraler Strang. Derselbe spaltet sich unterhalb der Knospe in zwei Arme, und diese verlaufen bis zu der Spitze der Cotyledonen. Die Rinde besteht aus isodiametrischen ölführenden Zellen, welche sich in die Cotyledonen fortsetzen. Unten endigt die Keimachse mit einer stark entwickelten Wurzelhaube. Diejenigen Zellen derselben, welche sich in der direkten Verlängerung der Vegetationsspitze befinden, bilden dort mehrere, nebeneinander liegende, centrale Reihen, und sind in axialer Richtung gestreckt. Die parenchymatischen Zellen des Eiweisskörpers sind reich mit Oel erfüllt.

Beim Beginne der Keimung bildet sich in den die Embryohöhlung auskleidenden Zellschichten des Eiweisskörpers Stärke. Gleichzeitig tritt solche in der Wurzelhaube, und getrennt davon auch in der Rinde der Achse und in den Cotyledonen auf (Fig. 8).

Die Stärkebildung in der Wurzelhaube lässt eine successive Entwicklung in der Art erkennen, dass die Stärke in den centralen Zellreihen, welche in der direkten Verlängerung der Vegetationsspitze der Wurzel liegen, zuerst auftritt und von hier den Zellkurven der Wurzelhaube seitlich folgend sich kappenförmig über die Vegetations-

spitze der Wurzel herbreitet, wobei sie zugleich von den äusseren Zellcurven gegen die inneren vorschreitet.

In allen Zellen des Eiweisskörpers bildet sich im Verlaufe der Keimung Stärke. Wenn dies geschehen, wird die harte Samenschale gesprengt, so dass sie weit auseinander klafft und der Eiweisskörper aus der Samenschale etwas heraustritt. Jetzt erst beginnt eine, in allen Theilen des Embryo anfangs gleichmässige Streckung und die Pfahlwurzel schiebt sich aus dem Eiweisskörper hervor. Hat sie die Länge von einigen Millimetern erreicht, so beginnt die Stärke in der Rinde über der Wurzelspitze zu verschwinden und der Embryo entwickelt sich von jetzt an unter Entleerung der Zellen des Eiweisskörpers in aufsteigender Ordnung.

Die Sprengung der Samenschale, sowie das darauf folgende Hervortreten des Eiweisskörpers beruht auf einem Wachsthum des letzteren. Dies lässt sich, wenigstens was das Wachsthum in die Breite anbelangt, am klarsten nachweisen, wenn man Querschnitte von keimenden und mit absolutem Alkohol entwässerten Samen mit solchen von ruhenden vergleicht. Es zeigt sich dann alsbald, dass der Scheibenring des Eiweisskörpers, welcher den centralen Kreis des Embryo's umgibt, bei ersteren eine grössere Breite erlangt hat, als bei letzteren. In Folge der Keimung hat sich der den Embryo bergende Raum erweitert, auch sind in Folge ebenderselben die innersten Zellschichten des Eiweisskörpers corrodirt worden. Wenn nun nach Obigem dessen ungeachtet nicht eine Verschmälerung, sondern eine Erbreiterung des Eiweissringes

sich herausstellt, die nach vergleichenden Messungen durchschnittlich immerhin 1 Millimeter erreicht, so folgt hieraus, dass das Wachsthum des Eiweisskörpers sogar ein nicht unbeträchtliches ist. Weniger genau ist das Längenwachsthum nachzuweisen, weil an der Stelle, wo der Embryo hervortritt, ein Theil des Eiweisskörpers bei der Keimung corrodirt wird. Bemerkenswerther Weise behält aber der entleerte Eiweisskörper die Form und Festigkeit, die er vor der Keimung besass, im Uebrigen bei.

Bei einer Reihe weiterer Untersuchungen an keimenden Coniferen, insbesondere an Thuja orientalis L. und occidentalis L., Pinus Pinea L., sylvestris L., Larix L., Picea L., Abies L. habe ich dieselben Resultate erhalten, nämlich ein gleichzeitiges Auftreten von Stärke in verschiedenen Theilen des Embryo und eine erst hierauf erfolgende und Anfangs gleichmässige Streckung aller seiner Zellen. Nicht weniger ergab sich, dass das Auftreten der transitorischen Stärke im Eiweisskörper und ein damit verbundenes Wachsthum desselben eine allgemein verbreitete Keimungserscheinung bei den Coniferen ist. Endlich waren auch die Erscheinungen bezüglich der Art des Auftretens und der Ausbreitung der Stärke in der Wurzelhaube, sowie die Beschaffenheit des Eiweisskörpers nach der Keimung dieselben, wie bei Taxus baccata.

Das Auftreten der transitorischen Stärke bei der Keimung von Pinus Pinea hat **Hugo von Mohl** zuerst nachgewiesen. Das Wachsthum des Eiweisskörpers derselben aber hielt dieser hochverdiente Forscher noch nicht für völlig ausgemacht.

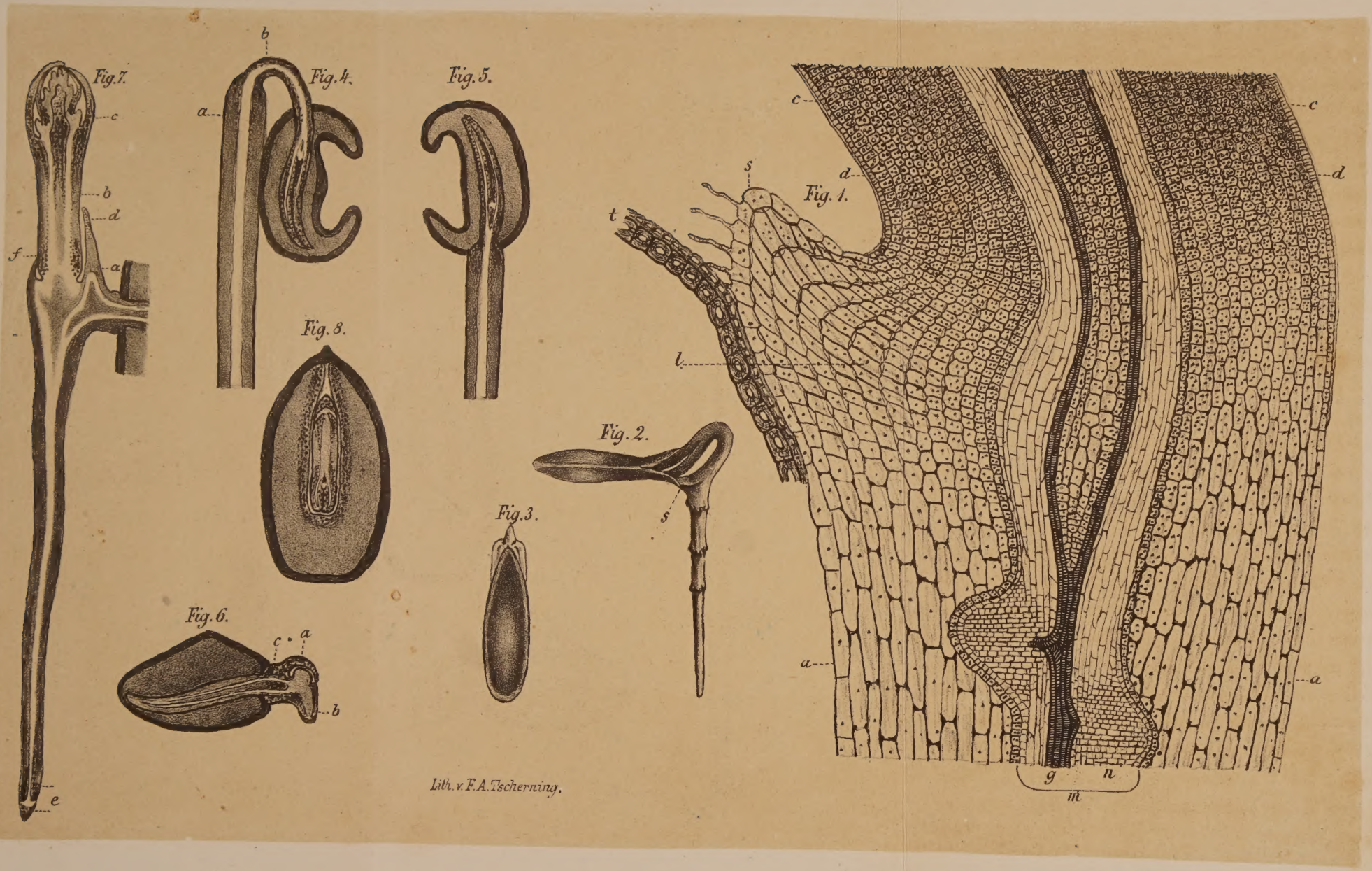
Fig. 7.
c
b
d
f
a
e
b
Fig. 4.
a
Fig. 5.
Fig. 8.
Fig. 6.
c
a
b
Fig. 2.
s
Fig. 3.
Fig. 1.
c
c
s
d
d
t
l
a
a
g
n
m
Lith. v. F.A. Tschenning.